

doi: 10.7541/2013.112

斑点叉尾鮰和杂交鲟幼鱼昼夜摄食节律和胃肠排空时间的研究

董桂芳^{1,3} 杨严鸥² 陈路^{1,2} 李辉¹ 阎博¹ 罗平远¹ 苏波¹

(1. 武汉轻工大学动物科学与营养工程学院, 动物营养与饲料科学湖北省重点实验室, 武汉 430023;

2. 安徽农业大学动物科技学院, 合肥 230036; 3. 淡水水产健康养殖湖北省协同创新中心, 武汉 430070)

摘要: 采用一次饱食投喂(将一昼夜分为8个时间段, 每个时间段作为一个处理组, 每天每个处理组饱食投喂一次)和分段式连续投喂(将一昼夜分为8个时间段, 每天每个实验缸连续投喂8次)两种方法研究斑点叉尾鮰和杂交鲟幼鱼的昼夜摄食节律, 同时研究它们在摄食后24h内胃和全肠的排空时间。结果显示, 在两种投喂方式下, 斑点叉尾鮰均表现出24h一周期的摄食节律, 两个日摄食率高峰期均出现在06:00和18:00 ($P<0.05$)。杂交鲟在一次饱食投喂下表现出24h一周期的摄食节律, 高峰期分别出现在11:00、17:00和05:00, 在分段式连续投喂时表现出48h一周期的摄食节律, 高峰期分别出现在11:00、17:00和36:00。在摄食后1—9h内, 斑点叉尾鮰的胃内含物比率急剧降低($P<0.05$), 并在24h时出现极低值($P<0.05$), 而1—9h内全肠内含物比率迅速升高($P<0.05$), 在9h时达到最大($P<0.05$), 在24h出现极低值($P<0.05$)。在摄食后1—7h内, 杂交鲟的胃内含物比率迅速下降($P<0.05$), 在24h时出现极低值($P<0.05$), 1—7h内肠内含物比率迅速升高($P<0.05$), 24h时呈现极低值($P<0.05$)。结果表明, 两种实验鱼表现出不同的昼夜摄食节律, 该节律受各自胃肠排空时间的影响, 也受投喂时间的影响。研究建议, 在斑点叉尾鮰和杂交鲟幼鱼的养殖中宜在光线较弱的清晨(05:00–06:00)和黄昏(17:00–18:00)进行投喂。

关键词: 昼夜摄食节律; 胃肠排空时间; 一次饱食投喂; 分段式连续投喂; 斑点叉尾鮰; 杂交鲟

中图分类号: S965.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2013)05-0876-09

在自然条件下, 动物的摄食行为具有一定规律, 并自然上升为一种节律行为, 从而表现出类似昼夜摄食节律的摄食模式, 并最终形成一种类似“生物钟”的内源性节律^[1, 2]。依据其内源节律, 鱼类的摄食节律行为被划分为白昼、夜间、晨昏摄食以及无明显摄食节律4种类型^[3, 4]。这种节律性对鱼类的生长具有显著影响, 且不同鱼类的生长在不同程度上都依赖于每天的投喂时间^[1, 5, 6]。依据鱼类的摄食节律来制定适宜的投喂时间和投喂量, 可使投喂时间与养殖对象的索饵活动周期一致, 可以提高饲料的利用率, 降低养殖水体的污染, 也可获得更高的渔产量^[1, 7]。因此, 开展对鱼类摄食节律的研究, 使鱼体每天的摄食活动同步于大多数体细胞生长增殖

期是一个重要的时间生物学策略^[8, 9]。

斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*) 隶属于鲇形目、鮰科、叉尾鮰属, 为农业部推广的产业化开发对象, 在我国有着良好的养殖前景^[10]。杂交鲟(*Acipenser baeri* Brandt × *Acipenser gueldenstaedtii*) 隶属于鲟形目、鲟科、鲟属, 在我国养殖规模不断扩大, 我国目前已成为世界上鲟鱼养殖产量最高的国家之一^[11]。目前虽然已对多种鱼类如黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、吉富品系尼罗罗非鱼(GIFT strain Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*)、尖吻鲈(*Dicentrarchus labrax*)、金头鲷(*Sparus aurata*)和塞内加尔鲷(*Solea senegalensis*)等的摄食节律开展了研

收稿日期: 2012-07-03; 修订日期: 2013-06-01

基金项目: 湖北省教育厅中青年项目(Q20101710); 国家国际科技合作专项项目(2011DFG33280); 武汉轻工大学2011年大学生创新项目资助

作者简介: 董桂芳(1980—), 女, 湖北孝感人; 博士, 副教授; 主要从事水生动物营养与饲料研究。E-mail: dongguifang2002@126.com

通信作者: 杨严鸥(1967—), 男, 四川大邑人; 博士, 教授; 主要从事水生动物营养与饲料研究。E-mail: cdyo@126.com

究^[12—17], 但对斑点叉尾鮰和杂交鲟的相关研究尚未见报道。本研究以这两种鱼类为研究对象, 旨在为两种鱼类的适宜投喂时间确定提供理论依据, 同时, 也为开展其他鱼类的摄食节律研究提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 实验鱼与实验饲料

实验用斑点叉尾鮰购自湖北省嘉鱼县三湖渔场, 杂交鲟购自湖北省荆州市鲟鱼专营公司。将实验鱼分别放入 2 个大小一致的室内水泥池(直径: 212 cm, 高: 97 cm, 容积: 4113 L)中驯养 15d。暂养期间, 每天用粗蛋白 44% 的饲料饱食投喂两次(09:00 和 15:00)。实验共配制了 2 种实验饲料, 其中以 20% 的白鱼粉和 48% 豆粕蛋白源作为斑点叉尾鮰的实验饲料, 以 45% 的白鱼粉和 20.5% 豆粕蛋白源作为杂交鲟的实验饲料。各饲料原料在制料机中挤压成 1—3 mm 的颗粒, 60℃ 烘干后, 于 -4℃ 冰柜保存。饲料配方及其基本饲料化学组成如表 1 所示。

1.2 实验设计

采用两种实验方法研究昼夜摄食节律。第一种实验方法为一次饱食投喂昼夜摄食节律法: 将一昼夜分为 8 个时间段(斑点叉尾鮰划分的时间段为: 6:00、9:00、12:00、15:00、20:00、23:00、2:00、5:00; 杂交鲟划分的时段为: 8:00、11:00、14:00、17:00、20:00、23:00、2:00、5:00)。每个时间段作为一个处理水平, 每个处理组均设置 3 个重复, 每天每个实验缸仅饱食投喂一次。第二种实验方法为分段式连续投喂昼夜摄食节律法: 将一天分为 8 个时间段(斑点叉尾鮰和杂交鲟的时间段均与各自的一次饱食投喂昼夜摄食节律法中的时间段相同)。连续投喂, 只有一个处理, 3 个平行。

1.3 饲养管理

斑点叉尾鮰和杂交鲟幼鱼的昼夜摄食节律实验实验先后在 28 个圆形平底塑料缸(直径: 80 cm, 体积: 300 L)组成的室内循环水养殖系统中进行。实验开始前 10 天, 将斑点叉尾鮰和杂交鲟分别从暂养池转入实验系统中驯养。实验开始前将实验鱼饥饿 1d, 然后将实验鱼从暂养池中捞出, 集中放入 2 个塑料缸中。从中随机挑选体质健壮、大小均一的(斑点叉尾鮰初始体重约 10.8 g, 杂交鲟初始体重约 11.5 g)个体, 每缸 10 尾, 每个处理设置 3 个平行。实验期间, 斑点

表 1 饲料配方及化学组成(g/100g 干物质)

Tab. 1 Formulations and chemical compositions of the experimental diets (g/100 g in dry matter)

原料 Ingredients	含量 Contents (%)	
	斑点叉尾鮰 Channel catfish	杂交鲟 Hybrid sturgeon
白鱼粉 White fish meal (USA)	20	45
豆粕 Soybean meal	48	20.5
玉米淀粉 Corn starch	10	12
α-淀粉 α-starch	6	6
矿物盐预混物 Mineral premix ^a	5	5
维生素预混物 Vitamin premix ^b	0.4	0.4
鱼油 Fish oil	9	9
氯化胆碱 Choline chloride	0.3	0.3
麸皮 Wheat bran	1.3	1.8
化学组成(干物质) Chemical composition (in dry matter)		
粗蛋白 Crude protein (%)	38.02	45.24
粗脂肪 Crude lipid (%)	12.13	13.06
灰分 Ash (%)	10.26	9.86
总能 Gross energy (kJ/g)	19.34	20.16

注: ^a 矿物盐预混物 Mineral premix (mg/kg diet): Ca(H₂PO₄)·2H₂O, 50000; FeSO₄, 6250; C₆H₁₀CaO₆·5H₂O, 8750; ZnSO₄·7H₂O, 882.5; MnSO₄·4H₂O, 405; CuSO₄·5H₂O, 77.5; CoSO₄·6H₂O, 2.5; KI, 7.5; NaCl, 2500; MgSO₄·7H₂O, 37,500; NaH₂PO₄·2H₂O, 62500; KH₂PO₄, 80000; zeolite powder, 1125; ^b 维生素预混物 Vitamin premix (mg/kg diet): 维生素 A Vitamin A, 110; 维生素 D₃ Vitamin D₃, 20; 维生素 E Vitamin E, 100; 维生素 K₃ Vitamin K₃, 10; 维生素 C Ascorbic acid, 111; 硫胺素 Thiamin, 20; 核黄素 Riboflavin, 20; 维生素 B₆ Pyridoxine, 20; 维生素 B₁₂ Cyanocobalamine, 2; 叶酸 Folic Acid, 5; 泛酸钙 Calcium Pantothenate, 50; 肌醇 Inositol, 100; 烟酸 Niacin, 100; 生物素 Biotin, 5; 米糠 Rice Bran, 3226

叉尾鮰和杂交鲟分别按照两种实验方法进行投喂。每天准确称取过量实验饲料, 使其达到表观饱食。投喂后 1h, 将残饵用虹吸管吸出, 放入每个缸对应的盒子里, 60℃ 烘干, 用以计算实验鱼的实际摄食量。残饵的溶失率在各自生长实验完成后测定: 向无鱼的鱼缸中投入与实验期间所称取的重量相近的饲料, 1h 后, 用虹吸管收集饲料, 在 60℃ 下烘干, 称重, 计算溶失率, 用以校正每缸实验鱼的摄食量。实验期间, 每天测定水温, 斑点叉尾鮰养殖期间水温变动范围为 24.5—26.4℃, 杂交鲟养殖期间水温变动范围为 18.2—20.8℃, 每周监测水质一次。pH 变动范围为: 6.8—7.0。光照周期为 12D: 12L, 每天光照时间为 08:00—20:00。溶解氧大于 7.2 mg/L, 氨氮小于 0.5 mg/L。两种实验鱼昼夜摄食节律实验的实验周期均为 7d。

斑点叉尾鮰和杂交鲟幼鱼的胃肠排空实验 两种实验鱼的胃肠排空实验均在上述实验系统中进行。将暂养缸中的实验鱼转入实验系统中驯养 1 周, 每缸放 80 尾, 每种实验鱼均设置 3 个平行缸。实验开始前, 将鱼饥饿 48h, 以便充分排空各自胃肠中的内容物。实验期间, 实验鱼在 09:00 用各自昼夜摄食节律实验的实验饲料饱食投喂一次, 分别在投喂后 1、3、5、7、9、11、13、15、18 和 24h 随机取样。每次取样时, 将每缸中的实验鱼随机捞出 6 尾放入已溶解有 MS222 水溶液的塑料桶中, 深度麻醉, 以防止解剖时实验鱼胃肠蠕动, 而导致实验结果产生误差。每次将 6 尾鱼单独称重, 冰盘上解剖, 取出胃和肠中的内含物, 60℃ 烘干至恒重, 最后称重, 实验均持续 1 昼夜。

1.4 生化成分分析

饲料生化成分的测定均参照董桂芳等^[18]的方法进行。用凯氏定氮仪测定样品含氮量, 再乘以 6.25 得到样品粗蛋白含量。采用索氏抽提仪, 以乙醚为抽提液测定样品中的粗脂肪含量。灰分含量的测定是将样品放入马福炉中 550℃ 灼烧 6h。总能量用微量弹式能量计测定, 以上每项测定至少两个平行。

1.5 计算及统计分析

日摄食率(Daily feeding rate, % bw) = 干物质摄食量/初始体重

平均摄食率(Average feeding rate, % bw/d) = 干物质摄食量/初始体重/实验天数

胃内含物比率(Digesta ratios in stomach, % bw) = 胃内含物干重/鱼体湿重×100

肠内含物比率(Digesta ratios in bowels, % bw) = 肠内含物干重/鱼体湿重×100

所有实验数据先经过正态性检验和同质性检验, 然后对平均值进行单因素方差分析(one-way ANOVA)之后, 再进行 Duncan's 多重比较, 在 $P < 0.05$ 时检验差异的显著性。所有统计分析均由 Statistica 6.0 for Windows 完成。

2 结果

2.1 在两种投喂方式下, 斑点叉尾鮰和杂交鲟昼夜摄食节律

由图 1 可见, 一次饱食投喂和分段式连续投喂下, 斑点叉尾鮰在一昼夜不同时间段均表现出较为相似的摄食行为: 在一次饱食投喂下, 斑点叉尾鮰

一昼夜中 18:00 日摄食率最高, 其次是 06:00 ($P < 0.05$), 00:00 和 03:00 的日摄食率均显著低于 06:00 和 18:00 的摄食率($P < 0.05$)。综合 1—7d 的日摄食率可以看出, 斑点叉尾鮰表现出 24h 一周期的摄食节律, 两个摄食高峰值分别出现在 06:00 和 18:00。斑点叉尾鮰 7d 的平均摄食率也在 06:00 和 18:00 表现出摄食高峰, 00:00 和 03:00 出现摄食低谷(图 1); 分段式连续投喂下, 06:00—21:00 每个取样时间点的摄食率略低于一次饱食投喂摄食率。斑点叉尾鮰一昼夜也在 18:00 和 06:00 表现出 2 个摄食高峰($P < 0.05$), 00:00 和 03:00 的日摄食率均显著低于 06:00 和 18:00 的摄食率($P < 0.05$)。

由图 2 可见, 在两种投喂方式下, 杂交鲟在一昼夜不同时间段均表现出不同程度的摄食行为。在一次饱食投喂下, 杂交鲟一昼夜中 17:00 日摄食率最高, 其次是 05:00 和 11:00 ($P < 0.05$), 14:00、20:00、23:00 和 02:00 的日摄食率均显著低于 11:00、17:00 和 05:00 的摄食率($P < 0.05$)。除第 3 天外, 23:00 和 02:00 的日摄食率均无显著性差异($P > 0.05$)。从 1—7d 的日摄食率可以看出, 杂交鲟表现出 24h 一周期的摄食节律, 高峰值分别出现在 11:00、17:00 和 05:00。7d 的平均摄食率也表现出与日摄食率相似的变化规律(图 2)。在分段式连续投喂下, 在第 1、第 3、第 5 和第 7 天时, 杂交鲟一昼夜中 11:00 和 17:00 日摄食率最高($P < 0.05$), 但在第 2、第 4 和第 6 天时, 其 05:00 日摄食率最高($P < 0.05$)。从 1—7d 的日摄食率可以看出, 杂交鲟表现出 48h 一周期的摄食节律, 高峰值分别出现在 11:00、17:00 和 36:00。杂交鲟 7d 的平均摄食率则在一昼夜中表现出摄食高峰, 高峰值分别出现在 11:00、17:00 和 05:00。

2.2 斑点叉尾鮰和杂交鲟摄食后 24h 内胃和全肠排空时间

斑点叉尾鮰在摄食后, 1—9h 内胃内含物比率急剧下降($P < 0.05$), 11—13h 内缓慢下降($P < 0.05$), 15—18h 内达到稳定($P < 0.05$), 并在 24h 时出现极低值($P < 0.05$)(图 3)。而斑点叉尾鮰在摄食后, 1—9h 内全肠内含物比率迅速升高, 在 9h 时达到最大($P < 0.05$), 11—15h 又逐渐降低($P < 0.05$), 在 18—24h 出现极低值($P < 0.05$)(图 3)。

杂交鲟在摄食后, 1—7h 内胃内含物比率迅速下降($P < 0.05$), 9—11h 内逐渐下降($P < 0.05$), 13—18h 内又继续下降, 同时在 24h 时出现极低值($P < 0.05$)(图 4)。

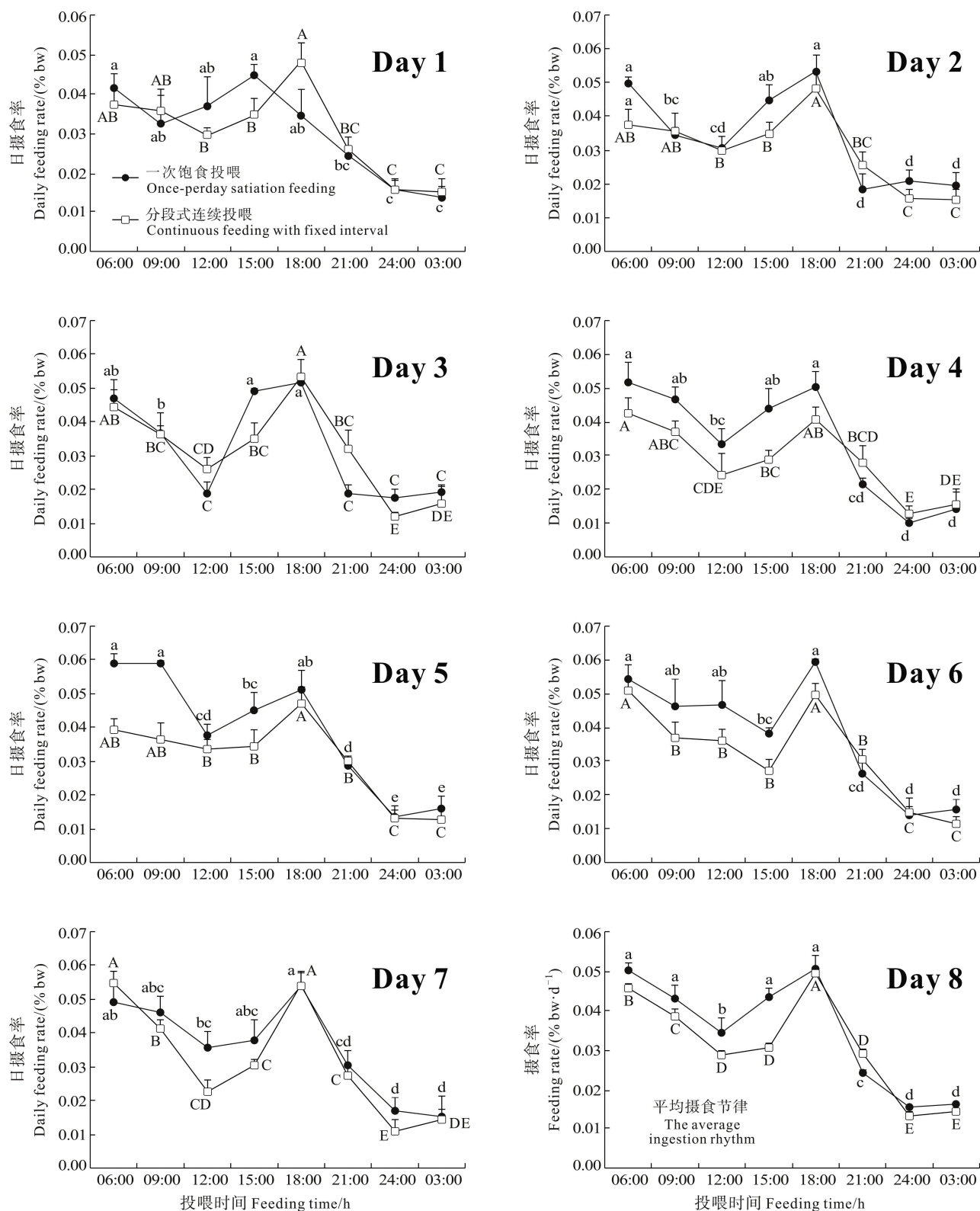


图 1 在一次饱食投喂和分段式连续投喂下斑点叉尾鮰的昼夜摄食节律变化(平均值±标准误, $n=3$)

Fig. 1 Variations of diet feeding rhythm of channel catfish under a once-per-day satiation feeding and a continuous feeding at a fixed interval (Mean±SE, $n=3$)

图中不同小写英文字母表示在一次饱食投喂下, 每个取样时间点所得数据之间差异显著($P<0.05$), 不同大写英文字母表示在分段式连续投喂下, 每个取样时间点所得数据之间差异显著($P<0.05$); 下同

Means with different lowercase letters are significantly different at $P<0.05$ under a once-per-day satiation feeding at each sampling time point. Means with different capital letters are significantly different at $P<0.05$ under a continuous feeding at a fixed interval at each sampling time point; the same applies below

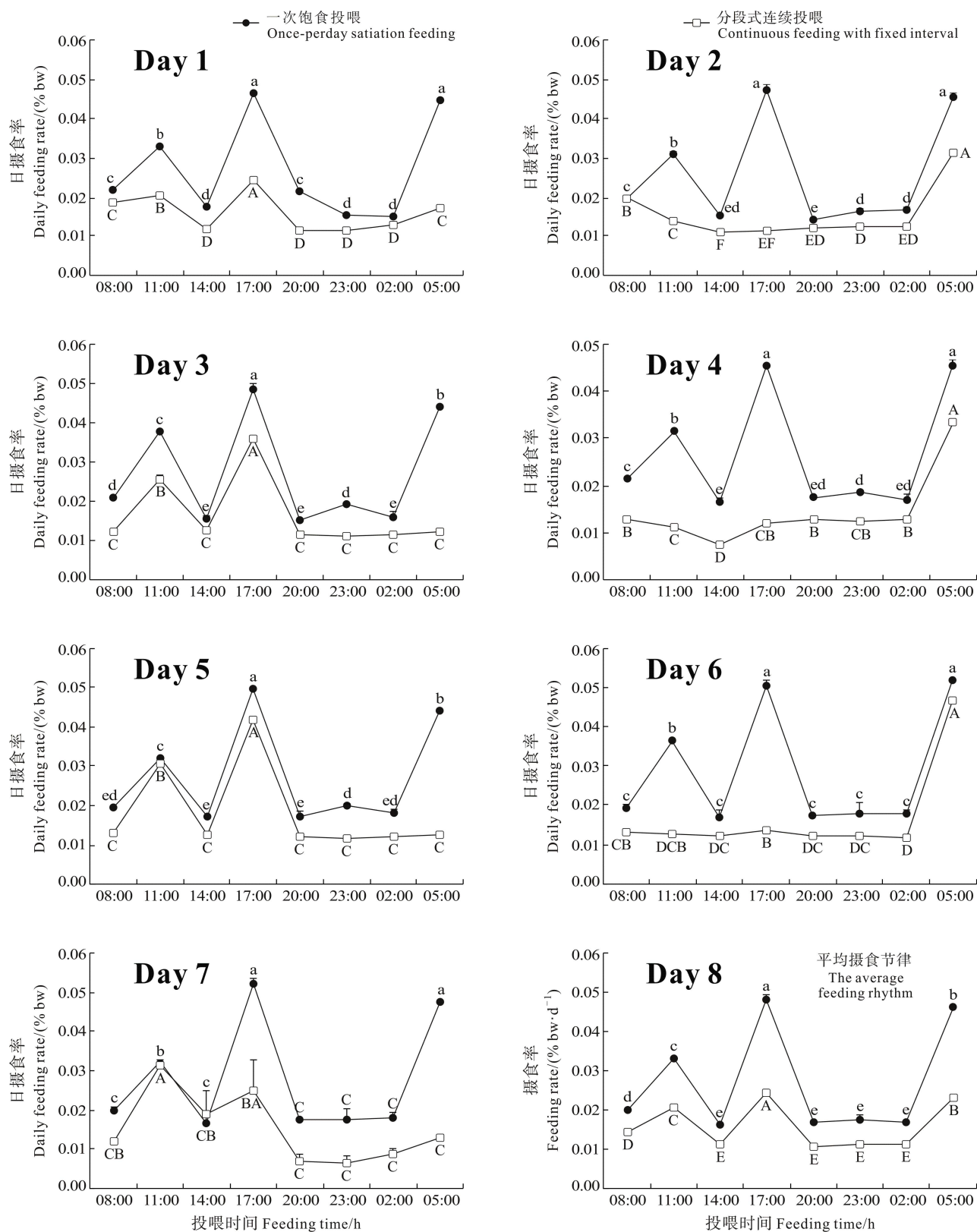


图2 在一次饱食投喂和分段式连续投喂下杂交鲟的昼夜摄食节律变化(平均值±标准误, $n=3$)

Fig. 2 Variations of diet feeding rhythm of hybrid sturgeon under a once-per-day satiation feeding and a continuous feeding at a fixed interval (Mean±SE, $n=3$)

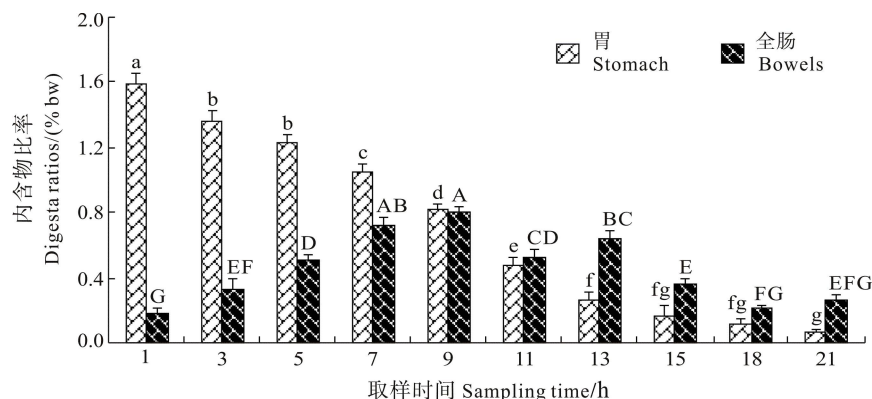


图3 斑点叉尾鲷摄食后胃和全肠内含物比例变化(平均值±标准误, $n=6$)*

Fig. 3 Post-prandial digesta ratios of stomach and bowels of channel catfish (Mean±SE, $n=6$)

*不同上标小写英文字母表示不同取样时间点胃内含物比率差异显著($P<0.05$); 不同上标大写英文字母表示不同取样时间点全肠内含物比率差异显著($P<0.05$); 下同

*means with different lowercase letters indicates significant difference ($P<0.05$) between digesta ratios of stomach at each sampling time point. Means with different capital letters indicates significant difference ($P<0.05$) between digesta ratios of bowels at each sampling time point. The same applies below

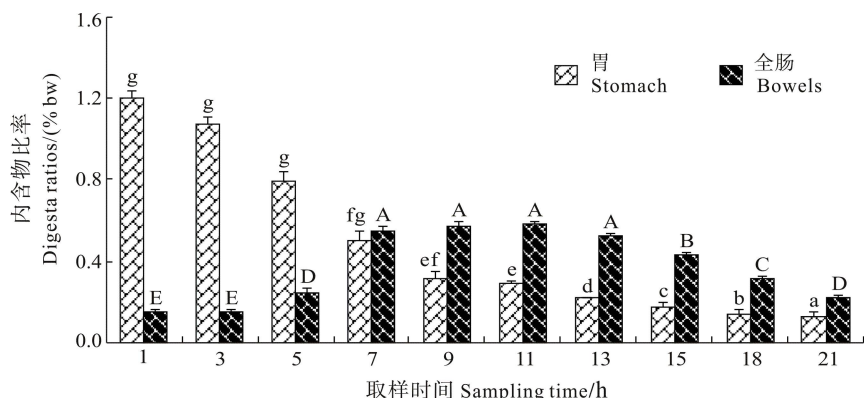


图4 杂交鲟摄食后胃和全肠内含物比例变化(平均值±标准误, $n=6$)

Fig. 4 Post-prandial digesta ratios of stomach and bowels of hybrid sturgeon (Mean±SE, $n=6$)

与胃内含物比率变化趋势相反, 1—7h 内肠内含物比率迅速升高($P<0.05$), 7h 时达到最大值后一直保持稳定至 13h, 15—24h 又继续下降, 24h 时呈现极低值($P<0.05$)(图 4)。

3 讨论

3.1 在两种投喂方式下, 斑点叉尾鲷和杂交鲟的昼夜摄食节律

本研究采用一次饱食投喂和分段式连续投喂两种实验方法研究斑点叉尾鲷和杂交鲟昼夜摄食节律。对两种实验方法对应的实验结果进行比较发现, 在一次饱食投喂下, 斑点叉尾鲷分别在第 1 和第 3 天的 15:00 出现了一个日摄食高峰, 其他几天均未在 15:00 出现日摄食高峰, 而分段式连续投喂时, 两个日摄食率高峰值均出现在 06:00 和 18:00, 可见, 在斑点叉尾鲷中, 一次饱食投喂得到的实验结果不及

分段式连续投喂稳定。但是, 从斑点叉尾鲷胃肠排空时间的结果来看, 斑点叉尾鲷在摄食 9h 后胃内含物仅排空约 50%, 肠内含物达到最大, 说明本研究中每天 8 次, 每次 3h 间隔的分段式连续投喂对斑点叉尾鲷来说是一种高强度的投喂方式, 可能会干扰其正常胃肠排空节律, 进而影响其昼夜摄食节律。因此, 综合本研究结果来看, 7—9h 间隔的分段式连续投喂可能比一次饱食投喂能更准确的反映斑点叉尾鲷的实际日摄食节律。这与韩冬^[2]和郑珂珂等^[19]分别在研究长吻鲢(*Leiocassis longirostris*)和大菱鲈(*Scophthalmus maximus*)幼鱼日摄食节律时得出的一次饱食投喂昼夜摄食节律得到的结果较分段式连续投喂更切合实际的观点不一致。这可能是因为在本研究中斑点叉尾鲷的日投喂时间与长吻鲢日投喂时间相差 2h, 且长吻鲢在摄食 9h 后, 胃内含物下降了约 51%。虽然在大菱鲈^[19]幼鱼昼夜摄食节律实验中

采用的日投喂时间与斑点叉尾鲷的相同,但是大菱鲷的胃和肠排空时间未检测,无法得到其胃肠排空的时间,因而无法比较本实验中斑点叉尾鲷与大菱鲷^[19]的胃肠排空时间。可见,鱼类的日摄食节律不仅受投喂时间,同时也受各自胃和全肠排空时间以及自身不同种属的影响。在一次饱食投喂下,杂交鲟表现出 24h 一周期的摄食高峰,高峰值分别出现在 11:00、17:00 和 05:00;在分段式连续投喂下,杂交鲟表现出 48h 一周期的摄食高峰,高峰值分别出现在 11:00、17:00 和 36:00。同时,从胃肠排空实验中发现杂交鲟在摄食 7h 后胃内含物约下降了 58%,24h 时胃内含物降至极低说明杂交鲟在摄食后胃排空的时间约为 24h,因此,一次饱食投喂 24h 的昼夜摄食节律更接近杂交鲟的实际摄食节律。

Helfmann^[3]把鱼类的摄食归纳为白天摄食、晚上摄食、晨昏摄食和无明显节律 4 种类型。本研究发现斑点叉尾鲷 2 个明显的日摄食率高峰值均出现在 06:00 和 18:00,而杂交鲟在一次饱食投喂中表现出的 3 个日摄食高峰分别为 05:00、11:00 和 17:00,且 17:00 和 05:00 的摄食率均显著高于 11:00 的摄食率,由此可见,斑点叉尾鲷和杂交鲟均是晨昏摄食的鱼类,这与虹鳟(*Salmo gairdneri*)^[20]和长吻鲈(*Leiocassis longirostris*)^[21]的昼夜摄食节律一致。Hafeez^[21]和 Underwood^[22]的研究表明,间脑的松果体(Pineal)在鱼类昼夜节律的调控上起到重要的作用。它是一种喜光振子,松果体组织和它的分泌物(褪黑激素, Melatonin)使昼夜摄食节律同步于外源光照周期的调节子。松果体组织直接起到光感受器(Photoreceptor)的功能,可把光照信息转换成神经和体液信号。在本研究中斑点叉尾鲷和杂交鲟的昼夜摄食高峰出现在光照较弱的清晨或黄昏。这可能是在弱光下,实验鱼间脑的松果体通过对光线的高效感知而转换成神经和体液信号,从而提高实验鱼的日摄食率,而强光可能会抑制实验鱼对光照信息的转换。

3.2 斑点叉尾鲷和杂交鲟 24h 内胃和全肠排空时间

胃肠排空是影响鱼类食欲的一个重要因子,鱼类摄入食物的总量取决于胃肠饱满度和胃肠排空速率^[23-25]。目前研究鱼类胃肠排空的方法有:胃肠内含物质量分析法(挤压或解剖排出内含物)、放射性标记法或 X 射线观察消化道中有色食物的移动法或结合加有惰性指示剂的饲料和挤压粪便法^[24, 26, 27]。

本实验采用胃和肠内含物质量分析法研究斑点叉尾鲷和杂交鲟的胃肠排空时间。斑点叉尾鲷在摄食 9h 后约 50%胃内含物已排空,此时肠内含物达到最大,24h 时胃和全肠内含物均降至最低,而杂交鲟在摄食 7h 后胃内含物约下降了 58%;肠内含物 7h 后达到最大值后一直保持稳定至 13h,24h 时胃和全肠内含物均降至最低。韩冬^[2]在研究长吻鲈胃肠排空时间中发现长吻鲈也在摄食 9h 后胃内含物已排空 76%,而摄食后 7—9h 肠内含物达到最大。但 Booth, *et al.*^[26]报道 5 g 和 20 g 体重的金赤鲷(*Pagrus auratus*)均在摄食后 2—4h 胃内含物迅速下降,7h 时胃内含物约下降了 28%,10h 后胃内含物约下降了 61%,说明金赤鲷在摄食后 2—4h 胃排空速率高于斑点叉尾鲷和杂交鲟,但其胃内含物排空 50%需要的时间长于斑点叉尾鲷和杂交鲟 2—3h;但两种体重的金赤鲷肠内含物在摄食后 2—3h 即达到最大值,而斑点叉尾鲷和杂交鲟在摄食后 7—9h 肠内含物才达到最大值,这可能与金赤鲷在摄食后胃和肠消化及吸收速率分别受胃腔和肠腔能量流动的不同步调节有关^[24]。Adamidou, *et al.*^[27]在研究饲料中分别添加 15%和 30%的蚕豆粕、鹰嘴豆粕或豌豆粕研究对欧洲海鲈(*Dicentrarchus labrax*)胃肠排空时间影响时发现,未添加上述 3 种蛋白源的对照组和 30%豌豆粕组、30%蚕豆粕组及 30%鹰嘴豆粕实验鱼胃 50%内含物排空时间分别为 5.3、5.6、8.0 和 9.8h,同时对对照组和 30%鹰嘴豆粕、30%豌豆粕组及 30%蚕豆粕组实验鱼的前肠和后肠排空时间分别为 31.7h 和 34.2h、38.2h 和 51.9h、39.5h 和 41.4h 以及 46.5h 和 51.7h,研究结果表明饲料中不同蛋白源、蛋白源含量以及淀粉或葡萄糖的吸收速率均可影响实验鱼胃肠排空时间。因此,在本研究中斑点叉尾鲷和杂交鲟饲料中不同的豆粕添加量(分别为 48%和 20.5%)也可能会略微影响其实际胃肠排空时间。综合本研究中斑点叉尾鲷和杂交鲟日摄食节律和胃肠排空的实验结果建议,在实际生产中斑点叉尾鲷和杂交鲟宜在光线较弱的清晨(05:00-06:00)和黄昏(17:00-18:00)的摄食高峰投喂,若采取多次投喂,每次投喂间隔 7—9h 较好。

参考文献:

- [1] Boujard T, Leatherland J F. Circadian rhythms and feeding time in fishes [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1992,

- 35(6): 109—131
- [2] Han D. Modeling for feeding system and pollution evaluation in Chinese longsnout catfish [D]. Thesis for Doctor of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences. 2005 [韩冬. 长吻鮠投喂管理和污染评估动态模型的研究. 博士学位论文. 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2005]
- [3] Helfmann G S. Fish behaviour by day, night and twilight. In: Pitcher T J (Eds.), The Behaviour of Teleost Fishes [M]. Croom Helm, London. 1986, 366—387
- [4] Madrid J A, Boujard T, Sánchez-Vázquez F J. Feeding rhythms. In: Houlihan D F, Boujard T, Jobling M (Eds.), Food Intake in Fish [M]. Oxford: Blackwell Science. 2001, 189—215
- [5] Baras E, Thoreau X, Melard C. Influence of feeding time on growth and feeding conversion rates in juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* [J]. *Cahiers d'Ethologie Fondamentale et Appliquée, Animale et Humaine*, 1995, 15(1): 71—80
- [6] Gélinau A, Mambrini M, Leatherland J F, et al. Effect of feeding time on Hepatic nucleic acid, plasma T3, T4, and GH concentration in rainbow trout [J]. *Physiology and Behavior*, 1996, 59(6): 1061—1067
- [7] Azzaydi M, Martínez F J, Zamora S, et al. Effect of meal size modulation on growth performance and feeding rhythms in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) [J]. *Aquaculture*, 1999, 170(3—4): 253—266
- [8] Spieler R E. Diel and seasonal changes in response to stimuli: a plague and a promise for mariculture [J]. *Proceedings of the Annual Meeting-World Mariculture Society*, 1977, 8(1—4): 865—882
- [9] Heilman M J, Spieler R E. The daily feeding rhythm to demand feeders and the effects of timed meal-feeding on the growth of juvenile Florida pompano, *Trachinotus carolinus* [J]. *Aquaculture*, 1999, 180(1—2): 53—64
- [10] Dong G F, Hu Z X, Huang F, et al. Effect of feeding frequency on growth, feed utilization and whole body composition of juvenile channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Fishery Modernization*, 2012, 39(2): 48—53 [董桂芳, 胡振雄, 黄峰, 等. 投喂频率对斑点叉尾鮰幼鱼生长、饲料利用和鱼体组成的影响. 渔业现代化, 2012, 39(2): 48—53]
- [11] Feng G P, Zhuang P, Zhang L Z, et al. Status quo and prospects of sturgeon aquaculture in China [J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(4): 317—320 [冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 我国鲟鱼类养殖现状及发展前景. 海洋渔业, 2004, 26(4): 317—320]
- [12] Yang R B, Xie C X, Wei K J, et al. The daily feeding rhythms of juvenile yellow catfish, *Pelteobagrus fulvidraco* at different feeding frequencies [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2006, 25(3): 274—276 [杨瑞兵, 谢从新, 魏开建, 等. 不同投喂频率下黄颡鱼幼鱼的摄食节律研究. 华中农业大学学报, 2006, 25(3): 274—276]
- [13] Liu F, Dan S G, Wang J W, et al. Feeding habits of *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry) in the upper Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(6): 1081—1086 [刘飞, 但胜国, 王剑伟, 等. 长江上游圆口铜鱼的食性分析. 水生生物学报, 2012, 36(6): 1081—1086]
- [14] He J, Xu P, Zhu J. The feeding rhythm of GIFT strain Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, 2(3): 61—64 [何杰, 徐跑, 朱健. 吉富品系尼罗罗非鱼(GIFT)摄食节律初探. 水生态学杂志, 2009, 2(3): 61—64]
- [15] Rubio V C, Sánchez-Vázquez F J, Madrid J A. Nocturnal feeding reduces sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) pellet-catching ability [J]. *Aquaculture*, 2003, 220(1—4): 697—705
- [16] Sánchez-Vázquez F J, Corchete V, Suárez M D, et al. Effect of feeding methods and protein sources on *Sparus aurata* feeding patterns [J]. *Aquaculture*, 2003, 224(1—4): 98—103
- [17] Navarro D B, Rubio V C, Luz R K, et al. Daily feeding rhythms of Senegalese sole under laboratory and farming conditions using self-feeding systems [J]. *Aquaculture*, 2009, 291(1—2): 130—135
- [18] Dong G F, Zhu X M, Yang Y X, et al. Dietary supplemental glutathione (GSH) could reduce the toxicity of microcystins on yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(4): 722—730 [董桂芳, 朱晓鸣, 杨云霞, 等. 黄颡鱼饲料中添加谷胱甘肽降低藻毒素毒性作用的研究. 水生生物学报, 2010, 34(4): 722—730]
- [19] Zheng K K, Fang W, Kong F H, et al. Feeding rhythm and optimal feeding time for turbot *Scophthalmus maximus* L. juvenile [J]. *Fishery Modernization*, 2010, 37(5): 26—30 [郑珂珂, 方伟, 孔凡华, 等. 大菱鲆幼鱼的摄食节律及适宜投喂时间. 渔业现代化, 2010, 37(5): 26—30]
- [20] Douglas R H. An endogenous crepuscular rhythm of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) photomechanical movements [J]. *Journal of Experimental Biology*, 1982, 96(5): 377—388
- [21] Hafeez M A. Light microscopic studies on the pineal organ in teleost fishes with special regard to its function [J]. *Journal of Morphology*, 1971, 134(3): 281—313
- [22] Underwood H. The pineal and melatonin: regulators of circadian function in lower vertebrates [J]. *Experientia*, 1989, 45(10): 914—922
- [23] Bromley P J. The effect of food type, meal size and body weight on digestion and gastric emptying in turbot, *Scophthalmus maximus* L [J]. *Journal of Fish Biology*, 1987, 30(4): 501—512
- [24] Storebakken T, Kvien I S, Shearer K D, et al. Estimation of gastrointestinal evacuation rate in Atlantic salmon (*Salmo salar*) using inert markers and collection of faeces by sieving: evacuation of diets with fish meal, soybean meal or bacterial meal [J]. *Aquaculture*, 1999, 172(3—4): 291—299
- [25] Riche M, Haley D I, Oetker M, et al. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in

- tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. *Aquaculture*, 2004, **234**(1—4): 657—673
- [26] Booth M A, Tucker B J, Allan G L, *et al.* Effect of feeding regime and fish size on weight gain, feed intake and gastric evacuation in juvenile Australian snapper *Pagrus auratus* [J]. *Aquaculture*, 2008, **282**(1—4): 104—110
- [27] Adamidou S, Nengas I, Alexis M, *et al.* Apparent nutrient digestibility and gastrointestinal evacuation time in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets containing different levels of legumes [J]. *Aquaculture*, 2009, **289**(1—2): 106—112

DIET FEEDING RHYTHM AND GASTROINTESTINAL EVACUATION TIME OF JUVENILE CHANNEL CATFISH AND HYBRID STURGEON

DONG Gui-Fang^{1,3}, YANG Yan-Ou², CHEN Lu^{1,2}, LI Hui¹, YAN Bo¹, LUO Ping-Yuan¹ and SU Bo¹

(1. Hubei Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. College of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3. Freshwater Aquaculture Collaborative Innovation Center in Hubei Province, Wuhan 430070, China)

Abstract: A once-per-day satiation feeding (one day was divided into eight time periods, each time period was used as one treatment, the fish of each treatment was fed to apparent satiation once a day) and a continuous feeding with fixed interval (one day was divided into eight time periods, the fish of each tank was fed to apparent satiation, eight times a day) were used to investigate the diet feeding rhythm of channel catfish and hybrid sturgeon, and gastrointestinal evacuation times of the tested fish after feeding during a 24h collection period were also studied. The results showed that channel catfish exhibit a 24h diet feeding cycle and the two feeding peaks appeared at the 06:00 and 18:00 time periods, respectively under two feeding scenarios ($P<0.05$). Hybrid sturgeon displayed a 24h diet feeding cycle and the three feeding peaks appeared at the 11:00, 17:00, and 05:00 time periods, respectively under a once-per-day satiation feeding. However, hybrid sturgeon displayed a 48h diet feeding cycle and the three feeding peaks appeared at the 11:00, 17:00 and 36:00 time periods, respectively under a continuous feeding with fixed interval. Stomach digesta ratio of channel catfish decreased sharply after a 1—9h feeding ($P<0.05$), and it reached a minimum after the 24h feeding. But the bowel digesta ratio of the channel catfish increased sharply after a 1—9h feeding, and it achieved the maximum value after the 9h feeding and it achieved the minimum value after the 24h feeding. Stomach digesta ratio of hybrid sturgeon decreased sharply after a 1—7h feeding ($P<0.05$), and it reached a minimum after the 24h feeding, but the bowel digesta ratio of the fish increased sharply after a 1—7h feeding and it reached the minimum value after the 24h feeding. Our results indicated that channel catfish and hybrid sturgeon exhibited the different diet feeding rhythms under two feeding scenarios, and their diet feeding rhythms were not only affected by their gastrointestinal evacuation time, but also by the different feeding time. The present results suggested that the optimal feeding period were dawn (05:00—06:00) and dusk (17:00—18:00) in cultured of juvenile channel catfish and hybrid sturgeon.

Key words: Diet feeding rhythm; Once-perday satiation feeding; Continuous feeding with fixed interval; Gastrointestinal evacuation time; Channel catfish; Hybrid sturgeon